



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

**STUDI PENGARUH VARIASI UKURAN PARTIKEL FILLER
CARBON BLACK DARI LIMBAH BAN DAN KOMPOSISI
MATRIKS TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
SYNTHETIC RUBBER / NATURAL RUBBER UNTUK
APLIKASI *TREAD* PADA *AIRLESS TIRES*.**

GEMA RIVALDA RAIS
NRP. 2713100119

Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TL 141584

**STUDY OF CARBON BLACK FROM WASTE TIRES FILLER
PARTICLE SIZE VARIATION AND MATRIX COMPOSITION
EFFECT TO MECHANICAL PROPERTIES OF SHYNTHETIC
RUBBER / NATURAL RUBBER COMPOSITE FOR TREAD
APPLICATION ON AIRLESS TIRE.**

GEMA RIVALDA RAIS
NRP. 2713100119

Supervisor
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**STUDI PENGARUH VARIASI UKURAN PARTIKEL
FILLER *CARBON BLACK* DARI LIMBAH BAN DAN
KOMPOSISI MATRIKS TERHADAP SIFAT MEKANIK
KOMPOSIT *SYNTHETIC RUBBER / NATURAL RUBBER*
UNTUK APLIKASI *TREAD* PADA *AIRLESS TIRES*.**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Material Inovatif

Program studi S-1 Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GEMA RIVALDA RAIS

2713100119

Disetujui oleh pembimbing tugas akhir :

1. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.

()

2. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

()



**STUDI PENGARUH VARIASI UKURAN PARTIKEL
FILLER *CARBON BLACK* DARI LIMBAH BAN DAN
KOMPOSISI MATRIKS TERHADAP SIFAT MEKANIK
KOMPOSIT *SYNTHETIC RUBBER / NATURAL RUBBER*
UNTUK APLIKASI *TREAD* PADA *AIRLESS TIRES*.**

Nama : Gema Rivalda Rais
NRP : 2713100119
Jurusan : Departemen Teknik Material
Dosen Pembimbing : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Penggunaan ban *pneumatic* telah melayani pengendara dengan baik namun memiliki beberapa kelemahan. Sebanyak 18-23 persen penyebab kecelakaan lalu lintas di jalan tol seluruh Indonesia berdasarkan data 2004 hingga 2006 disebabkan oleh pecah ban. Melihat kondisi tersebut *scientist* melakukan riset untuk ban *non-pneumatic* (NPT) atau *airless tires*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran partikel *filler* dan komposisi matriks terhadap sifat mekanik komposit SR/NR untuk aplikasi *tread* pada *airless tires*. Pada penelitian ini dilakukan sintesa komposit *natural rubber/synthetic rubber* dengan komposisi 90/10, 50/50, dan 10/90, kemudian masing-masing komposisi diberikan filler berupa agregat dari ban bekas dengan ukuran 140 μm , 224 μm , dan 280 μm . Setelah bahan dicetak menjadi spesimen uji untuk diuji berupa FTIR, *tensile*, *hardness*, dan *Thermal gravimetry analysis*. Hasil peneilitian ini adalah penambahan *filler Carbon Black* dari pengolahan limbah ban dapat meningkatkan sifat mekanik namun menurun dengan bertambahnya ukuran partikel *filler*. Bahan SR/NR 90/10 memiliki sifat mekanik yang paling rendah namun memiliki stabilitas TGA paling baik sedangkan bahan SR/NR 50/50, dan

SR/NR 10/90 memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi namun stabilitas TGA yang lebih rendah. Penggunaan ban bekas sebagai alternatif *filler* dapat digunakan.

Kata kunci: *Airless tires, reinforcement filler, tread, natural rubber, synthetic rubber, recycled tires, carbon powder.*

**STUDY OF CARBON BLACK FROM WASTE TIRES
FILLER PARTICLE SIZE VARIATION AND MATRIX
COMPOSITION EFFECT TO PERFORMANCE OF
RUBBER-BASED COMPOSITE FOR TREAD
APPLICATION ON AIRLESS TIRES**

Name : Gema Rivalda Rais
NRP : 2713100119
Department : Materials Engineering Department
Supervisor : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Pneumatic tires has serve driver but have few lack. About 18-23 percent accident for 2004 to 2006 occur due to tires explosion. Seeing that condition, scientist does research on non-pneumatic tire or Airless Tires. The purpose of this research are to identify the effect of filler particle size variation and matrix composition to mechanical properties of SR/NR composite for airless tire tread application. In this research, SR/NR composite synthesized with composition 90/10, 50/50, 10/90, then each composite are given carbon black filler from waste tire processing with particle size 140 μm , 224 μm , and 280 μm . After that materials are molded to testing specimen and then to be tested of FTIR, Tensile, Hardness, and Thermal Gravimetry Analysis. The result of this research are, addition of carbon black from waste tire processing improve mechanical properties but decrease as particle size increase. SR/NR 90/10 composite has the least mechanical properties but the best TGA stability, SR/NR 50/50 and SR/NR 10/90 composite have the best mechanical properties but the least TGA stability. Use of waste tire as alternative filler are can be used

Keyword: *Airless tires, reinforcement filler, tread, natural rubber, synthetic rubber, recycled tires, carbon powder.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, Tuhan Semesta Alam yang telah memberikan penulis limpahan rahmat untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir tentang ***“Studi Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Filler Serbuk Karbon dari Limbah Ban dan Komposisi Matriks Terhadap Komposit Berbasis Karet Untuk Aplikasi Tread pada Airless Tires”***. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri (FTI), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu mencurahkan rahmat, anugerah, dan karunia kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Kedua orang tua penulis, serta adik penulis yang selalu mendoakan dan memberi dorongan motivasi selama ini,
3. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI ITS.
4. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. dan Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan kepada penulis,
5. Dosen-dosen Departemen Teknik Material, yang memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan S1,
6. Karyawan Laboratorium Inovasi Material, Laboratorium Fisika Material dan Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI ITS, yang telah memberi bantuan dalam hal teknis dan pengambilan data penelitian,
7. Rekan tim sekaligus keluarga Laboratorium Inovasi Material, yang telah saling membantu dan menguatkan dalam pengerjaan Tugas Akhir penulis,
8. Seluruh kolega angkatan 2013 yang selalu saling menguatkan dalam bingkai keriaan,

9. Dan seluruh pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu disini yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan di berbagai sudutnya. Namun, dengan tulus penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi semua orang.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ban Konvensional	5
2.2 Komponen Ban Konvensional	6
2.2.1 Komponen <i>Rubber</i>	6
2.2.2 <i>Reinforcement Materials</i>	6
2.2.3 Komponen Ban Radial	7
2.3 Material Yang digunakan pada Ban Konvensional	8
2.4 <i>Non Pneumatic Tires</i>	9
2.5 Material dan Distribusi Berat pada Ban NPT	10
2.6 Tread	11
2.7 <i>Rubber</i>	12
2.7.1 <i>Natural Rubber</i>	12
2.7.2 <i>Synthetic Rubber (Styrene Butadiene Rubber)</i>	13
2.8 <i>Carbon Black</i>	14
2.8.1 Manufakturisasi Karbon	15
2.8.2 Sifat Umum dan Kimia Karbon Black	15
2.9 Silika	15

2.10 Karakterisasi Material	16
2.10.1 <i>Rubber</i>	16
2.10.2 <i>Carbon</i>	17
2.10.3 <i>Silika</i>	18
2.11 Vulkanisasi	19
2.11.1 Bahan Bahan Proses	19
2.10.1 Proses <i>Mixing</i>	20
2.10.1 Proses Vulkanisasi	21
2.11 Tinjauan Penelitian Sebelumnya	22
2.11.1. Baeta, D. A. Dkk, <i>The Use Of Styrene-Butadiene Rubber Waste as a Potential Filler in Nitrile Rubber : Order of Addition and Size of Waste Particle</i>	22
2.11.1. Bijarimi, mohd dkk, <i>The Effect of Carbon Black Grades in Tyre Tread Compounds</i>	24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian	27
3.2 Peralatan Penelitian	27
3.3 Diagram Alir Penelitian	28
3.4 Variabel Penelitian	31
3.5 Prosedur Penelitian	31
3.6 Pengujian	33
3.7 Rancangan Penelitian	33
3.8 Rumus <i>tensile test</i>	34

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4. Hasil Pengujian FTIR Bahan SR-NR/CB	35
4.2 Hasil Pengujian <i>Tensile</i> Bahan SR-NR/CB	38
4.3 Hasil Pengujian Durometer <i>Hardness</i> Bahan SR-NR/CB ...	42
4.4 Hasil Pengujian TGA Bahan SR-NR/CB	44
4.4.1 Perbandingan Hasil Pengujian TGA	44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47

DAFTAR PUSTAKA	xviii
LAMPIRAN	xx
BIOGRAFI PENULIS	xxxii

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tujuan pengembangan ban	4
Gambar 2.2	Komponen Ban Radial	8
Gambar 2.3	Material yang digunakan	9
Gambar 2.4	Komponen pada Ban NPT	10
Gambar 2.5	Struktur Kimia <i>Natural Rubber</i>	12
Gambar 2.6	Struktur Kimia <i>Styrene Butadiene Rubber</i>	13
Gambar 2.7	Analisa FTIR <i>Natural Rubber</i>	17
Gambar 2.8	Analisa FTIR <i>Styrene Butadiene Rubber</i>	18
Gambar 2.9	Analisa FTIR <i>Carbon Black</i>	19
Gambar 2.10	Analisa FTIR Silika.....	19
Gambar 2.11	Efek Vulkanisasi pad Molekul <i>Rubber</i>	21
Gambar 2.13	Variasi Waktu <i>Curing</i> Optimal	23
Gambar 2.14	Hasil Pengujian Jumlah Partikel Terhadap <i>Tensile Strength</i>	24
Gambar 2.15	Hasil Pengujian Hardness	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Percobaan	29
Gambar 3.2	Diagram Alir Percobaan	30
Gambar 4.1	Hasil Pengujian FTIR masing-masing Bahan	37
Gambar 4.2	Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap modulus elastisitas masing-masing Variabel	39
Gambar 4.3	Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Nilai Hardness masing-masing Variabel	42
Gambar 4.4	Perbandingan Hasil Pengujian TGA	45

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Material Properties</i> Ban NPT	10
Tabel 2.2	Distribusi Material dan Berat NPT	11
Tabel 2.3	Bidang Aplikasi <i>Carbon Black</i>	15
Tabel 2.4	Data Spesimen Percobaan	22
Tabel 2.5	Data Hasil Pengujian Urutan Penambahan	23
Tabel 2.6	Data Hasil Pengujian Ukuran Partikel	23
Tabel 2.7	Hasil Uji Mekanik Spesimen A3	24
Tabel 2.8	Rumusan Campuran	26
Tabel 3.1	Variabel penelitian	31
Tabel 3.2	Data Unsur <i>Fille</i>	31
Tabel 3.3	Rancangan penelitian	32
Tabel 4.1	Rentang Gugus Fungsi FTIR	35
Tabel 4.2	Komposisi Spesimen	38
Tabel 4.3	Hasil Pengujian <i>Tensile</i>	38
Tabel 4.4	Hasil Pengujian <i>Hardness</i>	41

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Selama lebih dari 100 tahun kendaraan bermotor telah banyak membantu manusia dalam mobilitas sehari-hari. Dewasa ini perkembangan teknologi otomotif begitu pesat dalam peningkatan kenyamanan dan keamanan berkendara, salah satunya adalah teknologi ban kendaraan. Ban adalah komponen dari kendaraan bermotor yang mempunyai fungsi khusus dan sangat penting. Secara umum, fungsi ban pada kendaraan baik roda dua maupun roda empat atau lebih adalah menahan beban, meredam guncangan, meneruskan fungsi pengereman dan *traction* pada permukaan jalan serta mengendalikan arah gerakan kendaraan (Arief, 2013).

Penggunaan ban *pneumatic* telah melayani pengendara dengan baik namun memiliki beberapa kelemahan. Sebanyak 18-23 persen penyebab kecelakaan lalu lintas di jalan tol seluruh Indonesia berdasarkan data 2004 hingga 2006 disebabkan oleh pecah ban. Pecah ban menjadi penyebab nomor tiga setelah kurang antisipasi dan mengantuk. Data ditlantas polri 2006 menyebutkan jumlah kecelakaan tercatat 87.020 kasus. Penyebab ban pecah adalah tekanan udara yang tidak sesuai, ban sobek atau tertusuk benda tajam dan ban tidak layak pakai (antaranews, 2012).

Melihat kondisi tersebut *scientist* melakukan riset untuk ban *non-pneumatic* (NPT) atau *airless tires* yang terdiri dari substan *solid* secara keseluruhan. NPT atau *airless tires* adalah kombinasi ban dan roda tanpa udara dengan *tread* dari *rubber* yang terikat pada pusat roda dengan bantuan *spokes* poliuretan. Ban NPT diharapkan dapat mencapai performa yang lebih dari ban *pneumatic* dengan desain *shear band*, penambahan suspensi dan pengurangan *rolling resistance*, penerimaan beban kapasitas beban bawaan yang serupa ban *pneumatic*, kenyamanan

berkendara dan tanpa rongga untuk udara bertekanan (Umesh, 2016).

Sebagai salah satu komponen penting pada ban NPT, diperlukan penelitian lebih lanjut pada komponen *tread*. pada kebanyakan desain, *tread* berperan sebagai penyedia traksi antara kendaraan dan jalan dan pelindung (G. Sahsi, 2014). Karena *Tread* merupakan struktur komposit, penambahan *reinforcement filler* memiliki efek penting pada sifat produk akhir. Filler yang banyak digunakan pada ban adalah carbon, dan silika, dimana salah satu sumbernya adalah dari pengolahan ban bekas.

Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk menganalisa pengaruh variasi ukuran partikel filler dari pengolahan ban bekas dan komposisi matriks terhadap sifat mekanik komposit berbasis karet alam untuk aplikasi *tread* pada *airless tires*.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi ukuran partikel *filler* ban bekas terhadap sifat mekanik komposit SR/NR untuk aplikasi *tread* pada *airless tires* ?
2. Bagaimana pengaruh komposisi *synthetic rubber* dan *natural rubber* terhadap sifat mekanik komposit SR/NR untuk aplikasi *tread* pada *airless tires* ?

1.3. Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil akhir yang sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pencampuran material komposit dianggap homogen.
2. Kekasaran permukaan material komposit dianggap homogen.
3. Pengaruh *impurities* pada saat pencampuran diabaikan.
4. Fluktuasi Temperatur selama proses pencampuran diabaikan.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu:

1. Menganalisa pengaruh variasi ukuran partikel *filler* ban bekas terhadap sifat mekanik komposit SR/ NR untuk aplikasi *tread* pada *airless tires*.
2. Menganalisa pengaruh komposisi *synthetic rubber* dan *natural rubber* terhadap sifat mekanik komposit SR/NR untuk aplikasi *tread* pada *airless tires*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini ditujukan kepada pemerintah, peneliti lain, industri, dan masyarakat, yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagi pemerintah penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan riset material di bidang otomotif, terutama bagi peningkatan keselamatan berkendara lalu lintas.
2. Bagi peneliti lain (terutama mahasiswa), penelitian ini bermanfaat sebagai tolak ukur penelitian tentang material komposit pada *non-pneumatic tires* selanjutnya agar nantinya penelitian ini tidak hanya menjadi bahan koleksi perpustakaan semata. Selain itu, penelitian ini juga dapat digunakan sebagai salah satu sumber belajar dan pengajaran demi pengembangan ke arah yang lebih baik.
3. Bagi industri yang bergerak di bidang otomotif, khususnya *tires manufacture*, penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam perkembangan inovasi *non-pneumatic tires* dan peningkatan teknologi ban masa depan.
4. Yang terakhir, bagi masyarakat, penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber wawasan untuk pengembangan ilmu pengetahuan di masa mendatang, demi mewujudkan pendidikan Indonesia yang lebih inovatif dan aplikatif.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ban Konvensional

Ban adalah komponen teknis kompleks pada kendaraan bermotor dan harus melakukan berbagai fungsi. Ban harus dapat melindungi, mengurangi dan menjamin stabilitas arah yang baik, dan memberikan pelayanan jangka panjang.

Yang paling penting, ban harus memiliki kapabilitas untuk meneruskan gaya *longitudinal* dan *lateral* yang baik (selama pengereman, akselerasi dan manuver menikung) untuk menjamin kualitas cengkeraman jalan yang baik dan dapat diandalkan. Ban harus mampu melakukan semuanya bahkan jika jalan hanya memberikan traksi yang kecil pada kondisi balas dan licin ataupun jika jalan ditutupi oleh salju dan es.



Gambar 2.1 Tujuan pengembangan ban (continental AG, 2008).

Dalam hal lain, peningkatan yang sesuai pada komponen *tread* dapat mempengaruhi umur ban, *rolling resistance* dan kenyamanan berkendara (continental AG, 2008). Gambar 2.1 menunjukkan beberapa tujuan pengembangan ban.

Dalam bukunya, Lindenmuth (2005) Ban adalah komposit struktural yang performanya dapat didesain untuk menyesuaikan kriteria berkendara, *handling* dan traksi manufaktur kendaraan sekaligus ekspektasi konsumen. Sejarahnya, ban pertama kali diperkenalkan di *Great Britain* pada masa akhir 1800 sebagai peningkatan dari ban *rubber solid*.

2.2 Komponen Ban Konvensional

2.2.1 Komponen Rubber

Komposisi dasar dari rubber adalah polimer sebagai *backbone* komponen rubber. Kemudian *fillers* sebagai *reinforcement* komponen rubber. *Fillers* yang paling umum digunakan adalah *Carbon black* walaupun material lain seperti silika juga digunakan untuk memberikan sifat yang unik. Selain itu softeners seperti *petroleum oils*, minyak pinus, resin dan *wax* adalah pelembut yang digunakan pada komponen sebagai pembantu saat proses untuk meningkatkan kelekatan atau kelengketan komponen yang belum di vulkanisasi. Setelah itu *Antidegradents* seperti *waxes*, anti-oksidan, dan *antizonants* ditambahkan ke komponen untuk membantu melindungi ban dari pemburukan oleh ozon, oksigen dan panas. terakhir curative, selama proses vulkanisasi atau curing, rantai polimer akan menyambung, merubah kekentalan komponen menjadi tinggi dan elastis. Sulfur dan akselerator serta aktivator membantu mendapatkan sifat yang diinginkan. (Lindenmuth, 2005),

2.2.2 Reinforcement Material

Lindenmuth (2005) menjelaskan material *reinforcement* pada ban adalah penerima predominan pada komposit rubber/kawat yang memberikan kekuatan dan stabilitas pada bagian tepi dan *tread* serta menampung tekanan udara. Gambar

2.2 menunjukkan komponen-komponen ban konvensional. Jenis dan material yang paling umum digunakan adalah :

1. Nylon tipe 6 dan 6,6
2. Poliester
3. Rayon
4. Aramid
5. *Steel cord*
6. *Bead wire*

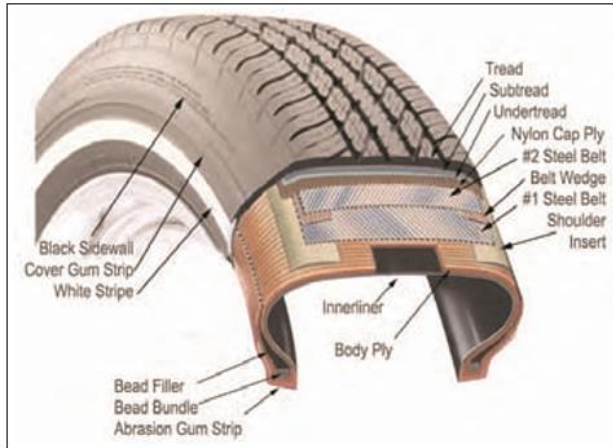
2.2.3 Komponen Ban Radial

Adapun ban radial terdiri dari komponen sebagai berikut :

1. *Innerliner*
2. *Body ply rim*
3. *Body plies*
4. *Bead bundles*
5. *Abrasion gum strip*
6. *Bead filler*
7. *Side wall*
8. *Sidewall reinforcements*
9. *Stabilizer (belt skim)*
10. *Stabilizer plies (belts)*
11. *Belt wedges*
12. *Shoulder inserts*
13. *Tread*
14. *Subtread*
15. *Undertread*
16. *Nylon cap plies*

-

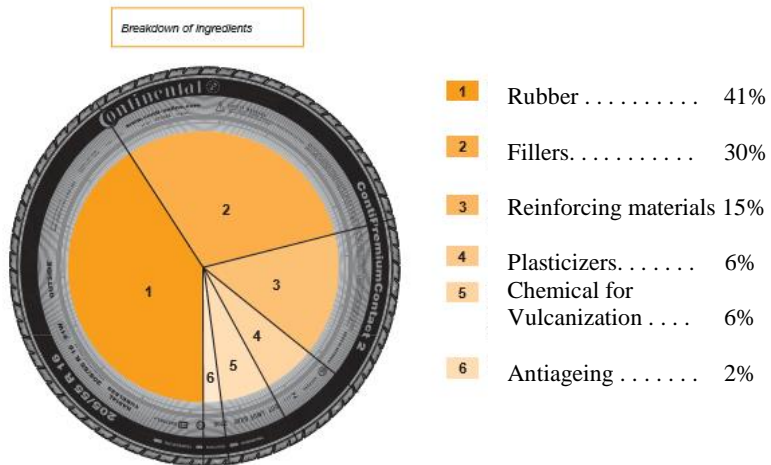
+



Gambar 2.2 komponen ban radial (Lindenmuth, 2005)

2.3 Material yang Digunakan pada Ban Konvensional

Komponen ban radial modern untuk mobil penumpang mengandung berbagai komposisi dengan jumlah yang berbeda. Komposisi ini berbeda tergantung pada ukuran dan jenis ban. Gambar 2.3 menunjukkan komposisi untuk ban musim panas (summer tyre) (continental AG, 2008).



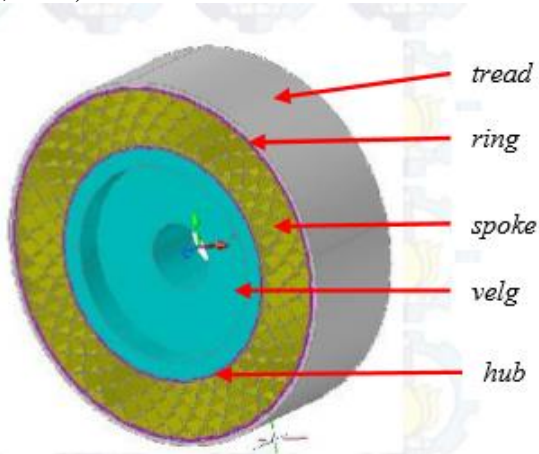
Gambar 2.3 material yang digunakan (continental AG, 2008).

2.4 Non Pneumatic Tire

Non pneumatic tire (NPT) adalah kombinasi ban sekaligus roda tanpa angin dengan *tread* rubber yang terikat pada pusat roda dengan bantuan *spokes* dari poliuretan. Ban NPT menargetkan tingkat *performance* yang melampaui kemungkinan pada teknologi ban *pneumatic* konvensional dengan desain *shear band*, penambahan suspensi, dan pengurangan *rolling resistance*-nya. Ban NPT dapat menerima kapasitas beban selayaknya ban *pneumatic*, kenyamanan berkendara, tidak ada rongga udara bertekanan, dan tidak mengalami kegagalan oleh hilangnya tekanan udara.

Ban NPT biasanya memiliki rolling opposition yang tinggi dan memberikan suspensi yang lebih sedikit dibanding ban *pneumatic* dengan bentuk dan ukuran yang sama. Masalah lain dari ban NPT menampung panas yang terbentuk ketika ban dikendarai. (Umesh dan Amith, 2016)

Ban NPT seperti pada gambar 2.4, tersusun atas hub, ring, tread, dan spokes. Hub terbuat dari aluminium sebagai penghubung ban NPT dengan velg. Ring berfungsi untuk menjaga bentuk dari ban. *High strength steel* digunakan sebagai bahan dari ring. Dan *material properties* untuk komponen ban NPT (Arief dan Agus, 2013)



Gambar 2.4 komponen pada ban NPT (Arief dan Agus, 2013)

Tabel 2.1 *material properties* ban NPT

<i>Part</i>	<i>Material</i>	<i>Young modulus (Gpa)</i>	<i>Possion rasio</i>
<i>Spoke</i>	<i>Poliuretan</i>	1,5	0,43
<i>Hub</i>	<i>Aluminium</i>	72	0,33
<i>Ring</i>	<i>High strength steel</i>	210	0,29
<i>Tread</i>	<i>Rubber</i>	$2.90.e^{-3}$	0.49

Sumber : Arief dan Agus tahun 2013

2.5 Material dan distribusi berat pada Ban NPT

Manibalan dkk (2013) pada tabel 2.2 memaparkan material dan distribusinya pada ban NPT sebagai berikut :

Tabel 2.2 distribusi material dan berat NPT

Raw	Shear band	Tread	Spokes	Hub	Total weight
Raw material	Wt %	Wt %	Wt %	Wt %	Wt %
Synthetic rubber	0	41	0	0	1.15
Natural rubber	0	4	0	0	.10
Carbon black	0	10	0	0	.26
Silica	0	28	0	0	.77
Sulfur	0	1	0	0	.02
Zno	0	1	0	0	.03
Oil	0	11	0	0	.29
Stearic acid	0	1	0	0	.04
Recycled rubber	0	0	0	0	0
Coated wires	10	0	0	0	.62
Textile	0	0	0	0	0
Polyurethane	90	0	100	0	8.44
Steel	0	0	0	100	4.0
Total%	100	100	100	100	
Weight	6.35	2.75	2.65	4	15.75

Sumber : Manibaalan tahun 2013

2.6 Tread

Tread adalah bagian terluar dari ban yang bersentuhan langsung dengan jalan. Tread harus memberikan *grip* dan *traction* yang diperlukan selama berkendara, menikung dan mengerem. *Tread* diformulasikan dengan khusus untuk memberikan keseimbangan antara pemakaian, traksi, *handling*, dan *rolling resistance* dan mengurangi kerusakan pada *casing*. Tread terbuat dari sintetik *rubber* dan *natural rubber* dengan tambahan *filler* berupa *carbon black* dan silika.

Pola akan dicetak pada *tread* selama proses vulkanisasi atau *curing*. *Tread* didesain untuk memberikan pemakaian yang *uniform*, menyalurkan air dari pijakan, dan meminimalisasi kebisingan pada berbagai permukaan jalan.

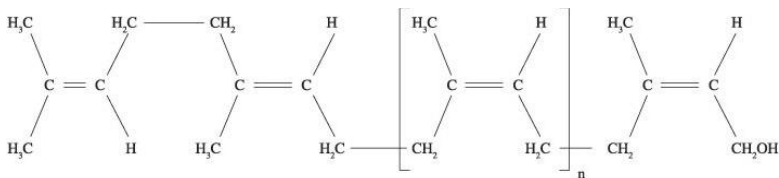
Baik bahan campuran maupun desain *tread* harus mampu *perform* secara efektif di berbagai kondisi berkendara, termasuk jalan basah, kering, atau tertutup di salju sekaligus memenuhi permintaan konsumen pada *wear resistance*, kebisingan rendah, dan kualitas berkendara yang baik. (Lindenmuth, 2005)

2.7 Rubber

Rubber adalah material polimer yang memiliki sifat fleksibilitas dan kemungkinan memanjang. Dengan pemberian gaya, molekul melurus ke arah tarikan, ketika dilepaskan dari gaya, *rubber* akan secara spontan kembali ke bentuk semula. *Rubber* mencakup *natural rubber* dan sintetik *rubber*. (Wanvimon, 2012)

2.7.1 Natural Rubber

Natural rubber adalah polimer yang berasal dari pohon *hevea brasiliensis* dan *parthenia argentatum* dengan struktur dasar cis-1,4 polyisoprene seperti pada gambar 2.5. (wanvimon, 2012)



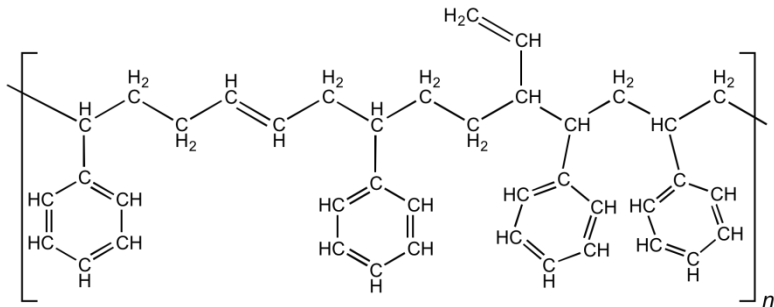
Gambar 2.5 struktur kimia *natural rubber* (Rondinelli dkk,2011)

Natural rubber dikenal dengan banyak sifat yang luar biasa, seperti *oil resistance*, *gas permeability* yang rendah, peningkatan pada cengkeraman jalan basah dan rolling resistance, dan kekuatan yang baik. *Natural rubber* di peroleh dari latex,

kebanyakan merupakan polimerisasi dari isoprena dengan jumlah *impurities* yang kecil. Hal ini akan membatasi sifat yang ada, walaupun penambahan sulfur dan vulkanisasi telah dilakukan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik *natural rubber*. (Jawad, 2011)

2.7.2 Synthetic Rubber / Styrene Butadiene Rubber (SBR)

Styrene butadiene rubber adalah sintetik rubber yang paling banyak digunakan pada ban. SBR paling dibuat dari polimerisasi stiren dan *butadiene*. Juga memungkinkan untuk dengan mengubah kandungan stiren dan proses polimerisasi untuk membuat variasi tipe SBR dengan karakteristik berbeda (Jawad, 2011). Aplikasi SBR paling besar adalah pada industri otomotif dan ban, terhitung sekitar 70% penggunaan. Oleh karenanya, SBR sudah terikat dengan bisnis ban. Gambar 2.6 adalah struktur kimia SBR.



Gambar 2.6 struktur kimia *Styrene Butadiene Rubber* (malcom, 2000)

SBR lebih kaku dan sulit untuk di-*mill*, dicampur, ataupun di-*calender* ketimbang *natural rubber*, kekurangan di kekakuan bangunan, memiliki sifat fisik yang relatif buruk. Sifat kemampuprosesan dan sifat fisiknya meningkat dengan pesat dengan penambahan minyak proses dan *pigment reinforcement*.

2.8 Carbon Black

Carbon black (CB) adalah bentuk komersial dari karbon padat yang dimanufaktur pada proses sangat terkontrol untuk memproduksi agregat khusus rekayasa dari partikel karbon yang beragam ukuran partikelnya, ukuran agregat, bentuk, porositas, dan *surface chemistry*. Carbon black pada umumnya mengandung 95% karbon murni dan sedikit jumlah oksigen, hidrogen dan nitrogen. Pada proses manufaktur, partikel CB terbentuk pada *range* ukuran 10 nm hingga sekitar 500nm. Partikel CB menyatu membentuk agregat seperti rantai, yang mana menentukan struktur grade masing masing CB.

Carbon Black digunakan pada berbagai jenis material untuk meningkat sifat fisik, elektrik, dan optikalnya. Penggunaan paling besar CB adalah sebagai *reinforcement* dan penambahan performa pada produk ban. Pada campuran rubber, elastomer alami dan sintetik dicampur dengan CB, elemen sulfur, minyak proses dan berbagai bahan kimia organik proses, kemudian dipanaskan untuk menghasilkan produk *vulcanized rubber* dengan *range* luas. Pada aplikasi ini, Carbon Black memberikan *reinforcement* dan meningkatkan ketahanan, *tear-strength*, konduktifitas, dan sifat fisik lainnya. (Orion, 2015)

Untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisik dari campuran *vulcanized rubber*, Carbon Black telah digunakan secara tradisional sebagai *reinforcing material* dengan beberapa *reinforcing minor* seperti clay, kalsium karbonat dan silikat karena *reinforcement* dengan Carbon Black untuk *rubber* sudah diuraikan pada awal abad 20, yang mana sangat penting pada penguatan dan pengurangan biaya material, dan meningkatkan proses. *Reinforcement* terutama meningkatkan kekuatan dan sifat-sifat yang berhubungan dengan kekuatan seperti *abrasion resistance*, *hardness*, dan modulus. (Jawad, 2011)

Tabel 2.3 Bidang aplikasi Carbon Black

Area	Application
Rubber	Reinforcing filler in tires and mechanical rubber components, conductivity
Printing Inks	Pigmentation, rheology, tinting
Coatings	Black and grey pigmentation, tinting
Plastics	Black and grey pigmentation, tinting, UV protection, conductivity, conductor coating
Fibers	Pigmentation
Paper	Black and grey pigmentation, conductivity, decorative and photo-protective papers
Construction	Cement and concrete pigmentation, conductivity
Power	Carbon brushes, electrodes, battery cells
Metal Reduction Compounds	Metal smelting, friction compound
Metal Carbide	Reduction compound, carbon source
Fireproofing	Reduction of mineral porosity
Insulation	Graphite furnaces, polystyrene and PU foam

Sumber : Orion, tahun 2015

2.8.1 Manufakturisasi karbon

Material mentah dasar untuk produksi Carbon Black terdiri atas hidrokarbon yang berpisah ke elemen unsur mereka, karbon dan hidrogen, baik secara proses *thermal* atau *thermal-oxidative*.

2.8.2 Sifat umum dan kimia Carbon Black

Massa jenis Carbon Black berdasarkan literatur bergantung pada metode yang digunakan, dan mungkin bervariasi dari 1,7 hingga 1,9 g/cm³.

2.9 Silika

Silika merupakan senyawa logam oksida yang banyak terdapat di alam, namun keberadaannya di alam tidak dalam kondisi bebas melainkan terikat dengan senyawa lain baik secara fisik maupun secara kimia. Penggunaan silika banyak dalam industri-industri, dikarenakan sifat dan morfologinya yang unik, diantaranya: luas permukaan dan volume porinya yang besar, dan kemampuan untuk menyerap berbagai zat seperti air, oli dan bahan radioaktif. Pada umumnya silika bisa bersifat hidrofobik

ataupun hidrofilik sesuai dengan struktur dan morfologinya (Nugrohu, dkk. 2006).

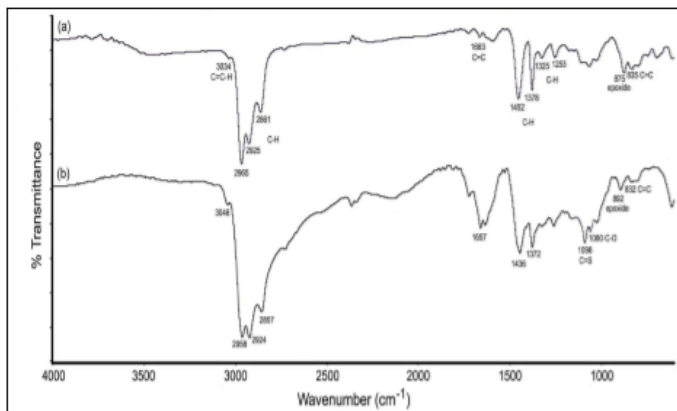
Selain itu silika juga bersifat non konduktor, memiliki ketahanan terhadap oksidasi dan degradasi termal yang baik, jika dipadukan dengan karet alam, maka akan membentuk komposit karet alam-silika yang akan menunjukkan kemampuannya untuk memperbaiki kinerja sebuah komposit baik sifat mekanik, optik, listrik maupun ketahanannya terhadap korosi jika dibandingkan dengan komposit berpenguat lainnya. Kinerja yang lebih baik tersebut terbentuk disebabkan adanya ikatan interface antara SiO_2 dengan karet alam.

2.10 Karakterisasi Material

2.10.1 Rubber

2.10.1.1. Natural Rubber

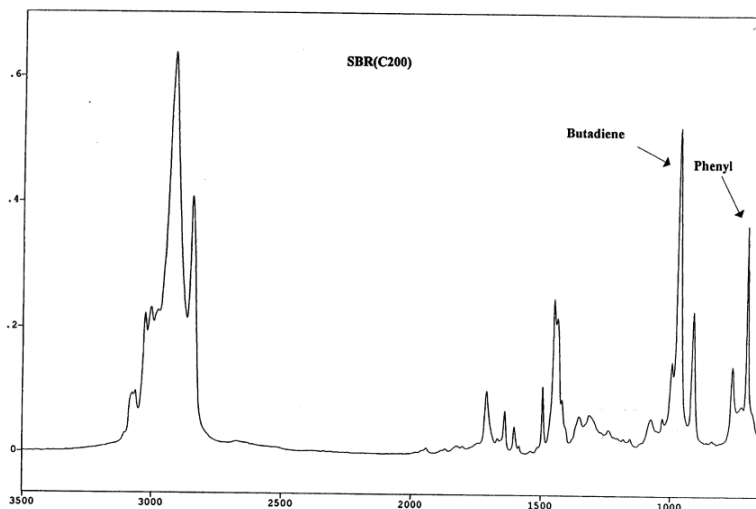
Rosniza dkk (2012) menjelaskan analisa FTIR *natural rubber* dengan *epoxy*. Dapat dilihat dari gambar 2.8 distribusi gugus untuk *natural rubber*.



Gambar 2.7 Analisa FTIR natural rubber (Rosniza dkk, 2012)

2.10.1.2. Styrene Butadiene Rubber

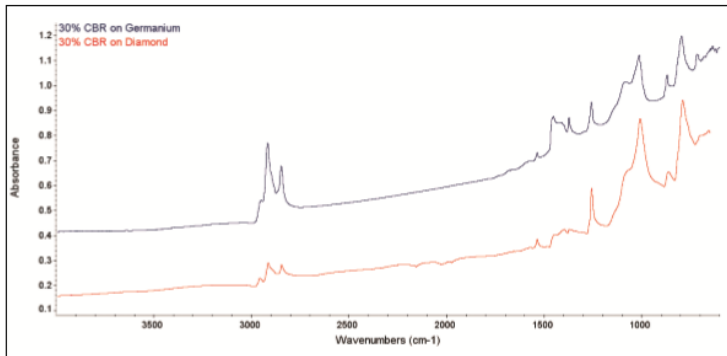
Gambar 2.8 menunjukkan spektrum IR dari 3500 sampai 600 cm^{-1} dari spesimen *Styrene Butadiene Rubber* tipe C200 yang mana menunjukkan *peak* dari gugus *phenyl* dan *Butadiene*. Distribusi gugus fungsi berada pada 980-957 cm^{-1} untuk *diene*, 705-694 cm^{-1} untuk *phenyl* dan 3100-2800 cm^{-1} untuk C-H total. Selain itu *peak* pada 1705 cm^{-1} adalah gugus asam lemak ester yang merupakan aditif pada *Styrene Butadiene Rubber* (James dan Xiaojun, 2009).



Gambar 2.8 Analisa FTIR *Styrene Butadiene Rubber* (James dan Xiaojun, 2009)

2.10.2 Carbon

Karbon memiliki sifat menyerap infra merah yang kuat, oleh karena itu diperlukan matrix yang inert. Pada penelitian pada *Thermo Scientific* (2013) uji FTIR dilakukan dengan Ge dan *Diamond*. Gambar menunjukkan *peak* pada 2800 cm^{-1} hingga 3000 cm^{-1} yang merupakan gugus *carbon black*.

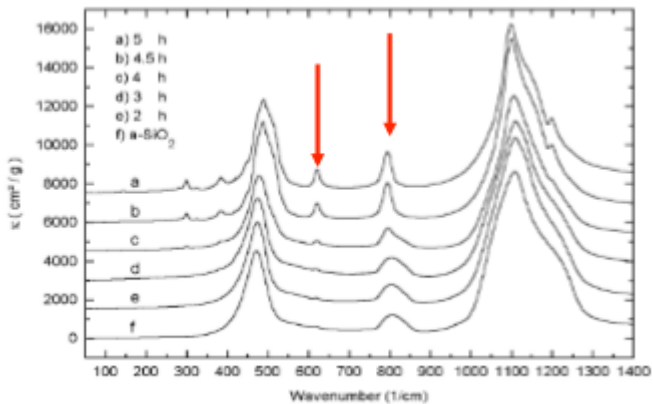


Gambar 2.9 Analisa FTIR Carbon Black (*Thermo scientific, 2013*)

2.10.3 Silika

Kawasan spektrum inframerah yang terpenting ialah yang terletak diantara 4000 dan 660 cm^{-1} . Jalur serapan dalam spektrum terjadi akibat perubahan tenaga yang timbul akibat getaran molekul jenis peregangan dan pembengkokan (cacat bentuk) ikatana. Kedudukan atom dalam molekul boleh dianggap sebagai kedudukan keseimbangan minimal, dan ikatan antara atom boleh diandaikan sebagai beranalog dengan spring apabila dikenakan peregangan dan pembengkokan.

Hasil yang diperoleh menunjukan bahwa puncak utama yang berkaitan dengan gugus fungsi pada silika adalah puncak bilangan gelombang 1095,5 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi Si-O-Si (Adam, 2006). Adanya gugus fungsi Si-O-Si diperkuat dengan adanya puncak bilangan gelombang 470,6 cm^{-1} yaitu ikatan Si-O (Lin, 2001).



Gambar 2.10 Analisa FTIR Silika (Chiyo, 2011)

2.11 Vulkanisasi/*Curing* dan *Mixing/compounding*

2.11.1 Bahan-Bahan Proses

Tujuan utama proses *compounding* adalah untuk mendapatkan sifat yang seimbang dari produk untuk kebutuhan. Dan untuk mendapatkan sifat yang diinginkan dengan biaya proses yang paling rendah. Secara praktis formula *compounding* terdiri dari 8 bahan.

1. *Elastomer*

Elastomer adalah bahan utama yang elastis, fleksibel, tangguh, dan relatif tidak *permeable*. Contohnya adalah rubber.

2. *Vulcanization agent*

Vulcanization agent adalah bahan yang harus ada untuk menyebabkan reaksi kimia, yang terjadi dengan terhubungnya ikatan silang molekul elastomer. Contohnya adalah sulfur.

3. *Accelerator*

Accelerator adalah bahan yang digunakan untuk mengurangi waktu vulkanisasi dengan cara mempercepat vulkanisasi. Contoh struktur kimia yang dapat digunakan adalah sulfenamida, *thiazole*, *guanidine*, *dithiocarbamate*, dan *thiuram*.

4. *Activator*

Activator adalah bahan yang digunakan untuk meningkatkan keefektifan, Contohnya adalah ZnO dan *stearic acid*.

5. *Antidegradant*

Antidegradant adalah bahan yang digunakan untuk degradasi oleh oksigen, ozon, panas, cahaya, dan mekanik dengan cara memperlambat degradasi. *Antidegradant* dapat dibagi menjadi dua yaitu, *antioxidant* dan *antiozonant*. Contoh yang paling banyak digunakan adalah *paraphenyldiamines* (PPD).

6. *Processing aid*

Processing aid adalah bahan yang digunakan untuk membantu proses seperti melunakkan *rubber*, menurunkan viskositas, dan memudahkan proses. Contohnya adalah asam lemak seperti *stearic acid*.

7. *Filler*

Filler adalah bahan yang digunakan untuk memperkuat sifat fisik dan mekanik ataupun mengurangi biaya. *Filler* dapat dibagi menjadi dua, yaitu *black filler* dan *non black filler*. Contoh *black filler* adalah karbon dan contoh *non black filler* adalah silika.

8. Material dengan tujuan tertentu

Material yang digunakan dengan maksud tertentu yang tidak dibutuhkan pada bahan campuran *rubber* kebanyakan. (Yam kok peng, 2007)

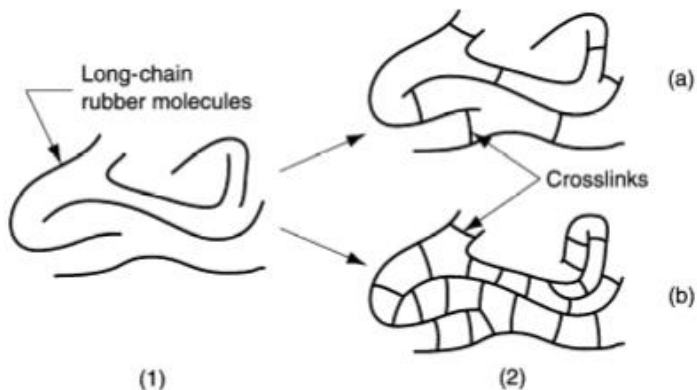
2.11.2 Proses *Mixing*

Proses *mixing* merupakan proses pencampuran bahan mentah awal. Bahan-bahan yang sudah di campur kemudian dimasukkan ke *banbury mixer*, yaitu alat yang biasa digunakan untuk mencampur bahan mentah dengan menggunakan tekanan dan putaran. Keluaran dari proses ini adalah *dust*. Setelah itu biasanya dilanjutkan dengan proses *calendering*, yaitu proses penggabungan *rubber* dengan bahan penyangga (filament reinforces) seperti steel atau nylon, kemudian di masukkan

kedalam *roll mill* untuk menghasilkan lembaran lembaran. (samuel dan henry, 2016)

2.11.3 Proses Vulkanisasi

Proses vulkanisasi adalah proses dimana rantai molekul karet dihubungkan dengan sulfur membentuk ikatan silang antar rantai molekul karet. (Adi dan Asron, 2013). Pada awal penemuan, proses vulkanisasi dilakukan dengan bantuan sulfur dengan perbandingan NR 100 : S 8 pada temperatur 140°C dengan waktu *curing* 5 jam. Namun penggunaan sulfur pada masa ini ditambahkan dengan bahan kimia lain untuk meningkatkan proses. Dengan bahan yang lebih beragam waktu curing mencapai 15-20 menit (M.P. Groover, 2002).



Gambara 2.11 efek vulkanisasi pada molekul *rubber*
(M.P. Groover, 2002).

2.12 Tinjauan Penelitian sebelumnya

2.12.1 The Use Of Styrene-Butadiene Rubber Waste as a Potential Filler in Nitrile Rubber : Order of Addition and Size of Waste Particle

Pada penelitian ini dilakukan penambahan *Styrene Butadiene Rubber* dari limbah sol sepatu sebagai *filler* potensial pada nitrile rubber. Konten SBR yang terdapat pada *filler* sebesar 26% dari berat. Variabel yang diamati berupa perilaku, performa mekanik, dan densitas sambungan rantai. Material yang digunakan adalah NBR615-B (33% akrilonitril dengan viskositas mooney sebesar 47), sisa SBR (densitas 0,9006 g/cm³, jumlah gel = 93,04%). Aditif *rubber* berupa ZnO, asam stearik, sulfur, *tetra methyl thiuram disulphide* (TMTD) dan *mercapto benzothiazyl disulphide* (MBTS), SBR 1507 (23,3% *Styrene* dan viskositas mooney 39) dan SBR sisa (23,3% *styrene*). Dengan data :

Tabel 2.4 data spesimen percobaan

Blends Compositions (phr)	A	AB1	AB2	AB3	AE2	AE3
NBR	100	100	100	100	100	100
ZnO	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Stearic acid	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sulfur	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
MBTS ^a	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
TMTD ^b	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SBR-r	0	10-30	10-30	10-30	10-90	10-90

^aMercapto benzothiazyl disulphide ^bTetra methyl thiuram disulphide

Sumber : jurnal ilmiah Beata, D.A dkk, 2009

1. Hasil pengujian urutan penambahan

Proses penambahan filler dilakukan dengan dua cara yaitu, pertama dimasukan setelah 10 menit proses roll mill, dan yang kedua dilakukan pada tahap terakhir proses roll mill (setelah semua bahan dimasukkan) lalu di uji dengan tensile strength.

Tabel 2.5 data hasil pengujian urutan penambahan

	A	AB1		AB2		AB3		AE2	AE3
p.h.r	0	10	30	10	30	10	30	30	30
σ^*	1.18	1.28	1.38	1.18	1.16	1.28	1.44	1.07	1.54
(MPa)	± 0.04	± 0.06	± 0.04	± 0.02	± 0.03	± 0.03	± 0.03	± 0.04	± 0.06
ε	415	389	397	371	477	380	441	439	415
(%) ^b	± 21	± 32	± 15	± 9	± 9	± 25	± 10	± 38	± 20
ν (mol/cm ³) ^c x 10 ³	3.6884	3.7456	4.7652	3.6568	4.7185	3.7635	5.2945	4.8769	5.3341
	± 0.011	± 0.012	± 0.013	± 0.013	± 0.012	± 0.022	± 0.011	± 0.021	± 0.023

^aTensile strength at break, ^belongation at break, ^cCrosslink density

Dari hasil didapatkan bahwa penambahan pada tahap terakhir proses mendapatkan performa paling baik.

2. Hasil pengujian ukuran partikel

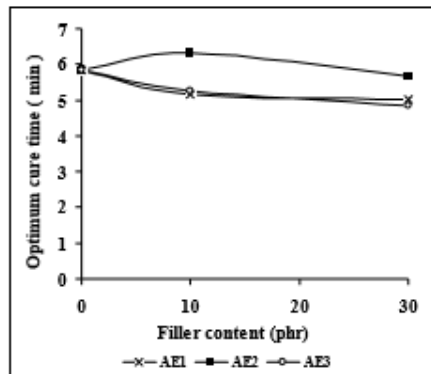
Setelah mendapatkan hasil satu, lalu dengan mengadopsi hasil dari pengujian satu dilakukan pengujian terhadap ukuran partikel terhadap *rheometric parameter*.

Tabel 2.6 data hasil pengujian ukuran partikel

	A	AE1		AE2		AE3	
p.h.r	0	10	30	10	30	10	30
M_{H}^* (dN.m)	11.6	11.4	11.8	11.4	11.3	11.6	12.8
M_{L}^* (dN.m)	0.85	0.86	0.98	0.80	0.85	0.99	1.1
t_{90}^* (min)	5.8	5.2	5.0	6.3	5.7	5.3	4.9
t_i^* (min)	2.5	2.1	1.6	2.4	2.2	2.1	1.5

*maximum torque, *minimum torque, *optimum cure time, %corch time

Dari hasil didapatkan bahwa trend semakin menurun dengan naiknya pemasukkan *filler*.



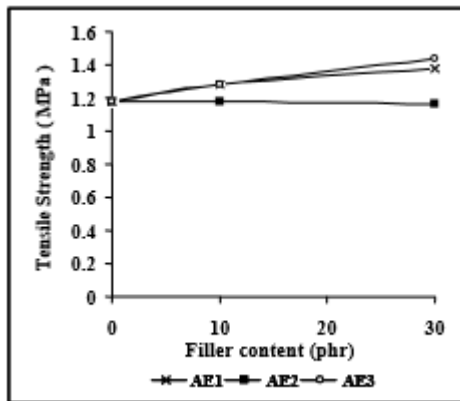
Gambar 2.13 variasi waktu *curing* optimal dengan ukuran partikel dan jumlah *filler*

3. Hasil pengujian performa mekanik
Lalu spesimen AE3 diuji mekanik dengan hasil.

Tabel 2.7 hasil uji mekanik spesimen A3

SBR-r (phr)	Tensile strength at break (MPa)	Elongation at break (%)	Tear strength (N/mm)	Hardness (Shore A)
0	1.18	415	39.3	39
10	1.28	380	40.8	40
30	1.44	441	44.4	44
50	1.80	403	47.2	47
70	1.80	379	49.2	49
90	1.74	396	50.4	50

Dan pengujian tensile untuk seluruh penelitian.



Gambar 2.14 hasil pengujian jumlah partikel terhadap *tensile strength*

Data tersebut menunjukkan bahwa penggunaan SBR sisa sangat menarik karena memiliki teknik yang sederhana. Pengujian dengan urutan penambahan menunjukkan penambahan diakhir proses memiliki nilai yang paling baik. Peningkatan jumlah filler menurunkan waktu *curing* optimal. Spesimen ukuran 3 memiliki tensile strength yang paling tinggi.

2.12.2 The Effect of Carbon Black Grades in Tyre Tread Compounds

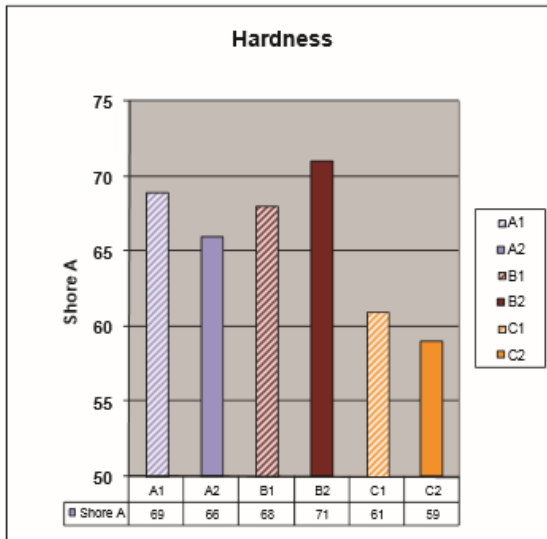
Pada jurnal ini dilakukan penelitian pengaruh *grade carbon black* pada campuran tread. *Grade carbon black* yang digunakan adalah N339/N375 dan N550/N660. Campuran di uji terhadap sifat rheologi dan fisik, *tensile*, *hardness* dan *tear strength*. Pada penelitian ini kode A1,B1, dan C1 menunjukkan ramuan tread standar sedangkan A2, B2 dan C2 menunjukkan varian. Lalu dibandingkan A1/A2, B1/B2 dan C1/C2. Proses *curing* dilakukan pada temperatur 150°C.

Tabel 2.8 rumusan campuran

Ingredients	A1	A2	B1	B2	C1	C2
	pphr	pphr	pphr	pphr	pphr	pphr
NR	100.0	100.0	80.0	80.0	72.0	72.0
SBR	-	-	20.0	20.0	28.0	28.0
N375	-	-	57.0	-	55.0	-
N339	-	-	-	57.0	-	55.0
N550	53.0	-	-	-	-	-
N660	-	53.0	-	-	-	-
Zinc Oxide	5.0	5.0	4.5	4.5	3.0	3.0
Stearic Acid	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	4.0
Antioxidant	2.0	2.0	1.0	1.0	0.5	0.5
Antiozonant	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Aromatic Oil	-	-	-	-	10.0	10.0
Sulphur	2.5	2.5	2.0	2.0	1.9	1.9
Accelerator	1.5	1.5	0.8	0.8	0.8	0.8
Retarder	0.4	0.4	0.20	0.20	0.4	0.4
Total	167.4	167.4	169.5	169.5	177.6	177.6

1. Hasil hardness

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada campuran A, nilai varian (N660) lebih rendah dari nilai standar (N550). Struktur menunjukkan jumlah partikel yang berdifusi membentuk agregat, semakin banyak agregat maka semakin banyak *void* terbentuk. Sedangkan pada campuran B, hasil varian lebih tinggi dari hasil standar. Dan sebaliknya campuran C memiliki nilai yang paling rendah dan terjadi penurunan pada nilai varian.



Gambar 2.15 hasil pengujian hardness

2. Hasil uji *tear strength*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh berarti pada campuran A, dan B. Sedangkan pada campuran C memiliki nilai *tear-strength* paling tinggi dan terjadi peningkatan nilai varian.

3. Hasil uji *tensile*

hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan pada ketiga campuran. Hal ini dijelaskan oleh Kraus (1971) bahwa dengan jumlah tetap (50 phr) struktur *carbon black* rendah memberikan nilai tensile strength yang lebih tinggi.

penelitian ini menunjukkan bahwa *grade carbon black* N375 dan N339 dapat ditukar secara langsung dan nilai tensile, hardness tidak begitu berpengaruh. Namun lebih disarankan penggunaan N339 karena lebih murah. Serta carbon black N550 dan N660 tidak dapat ditukar secara langsung dan penukaran menurunkan sifat *hardness*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Natura Rubber*

Natural rubber merupakan bahan utama untuk campuran matriks komposit *natural rubber/synthetic rubber*.

2. *SBR (Styrene Butadiene Rubber)*

SBR atau dikenal dengan *Styrene Butadiene Rubber* adalah bahan campuran matriks yang digunakan pada percobaan ini.

3. *Filler Reinforcement*

Filler Reinforcement berupa karbon black yang didapatkan dari pengolahan ban bekas berbentuk crumb, kemudian dilakukan *sieving* untuk mendapatkan ukuran partikel sebesar 140 μm , 224 μm , dan 280 μm .

4. Sulfur

Sulfur merupakan bahan tambahan utama yang berperan sebagai *reaction agent* pada saat vulkanisasi

5. Bahan kimia Sulfenamida atau thiuram

Digunakan sebagai pemercepat reaksi.

6. Asam stearat

3.2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Wadah Aluminium

Wadah aluminium digunakan untuk proses pencampuran material.

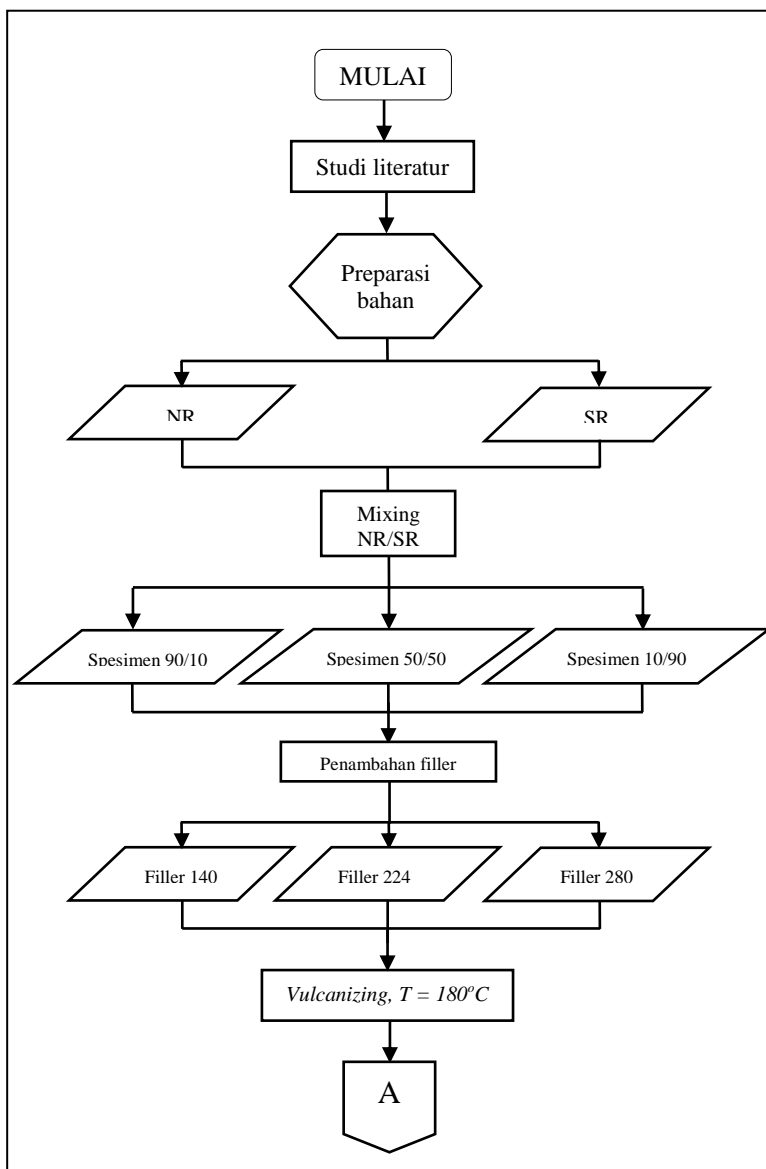
2. Timbangan Digital

Timbangan digital Mettler Toledo digunakan untuk menimbang massa bahan campuran.

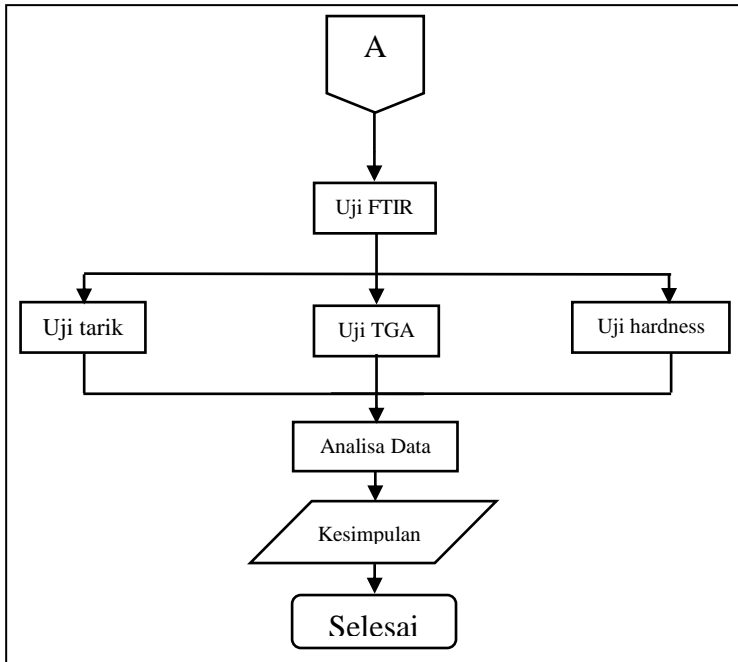
3. Alat Penggiling/ roll mill
Alat pengaduk seperti pada Gambar 3.6, ini digunakan untuk mengaduk campuran matriks rubber dengan filler carbon untuk membuat spesimen.
4. Oven
Oven digunakan untuk proses vulkanisasi bahan.
5. Mesin press
Mesin press digunakan untuk memberikan tekanan pada spesimen pada saat proses vulkanisasi.
6. Cetakan
Cetakan digunakan untuk membentuk dan menahan bahan agar sesuai pola yang dibutuhkan.
7. Mesin uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)
Digunakan untuk mengamati rantai dan gugus fungsi pada spesimen komposit *Natural rubber/synthetic rubber*. Uji FTIR menggunakan instrumen Thermo Scientific Nicolet IS10 milik Laboratorium Karakterisasi, Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Mesin uji tarik.
Digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material spesimen komposit *Natural rubber/synthetic rubber*.
9. Alat uji Hardness Durometer Shore A.
Digunakan untuk mengetahui kekerasan dari material spesimen komposit *Natural rubber/synthetic rubber*.
10. Mesin Uji TGA
Digunakan untuk menganalisa sifat termal dari material komposit *Natural rubber/synthetic rubber*.
11. *Sieving machine*
Digunakan untuk memisahkan ukuran partikel ban bekas.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 dan 3.2 menunjukkan diagram alir percobaan yang dilakukan pada tugas akhir ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan



Gambar 3.2 Diagram Alir Percobaan

3.4. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah ukuran partikel *Carbon Black* dan komposisi matriks polimer komposit *Natural rubber/synthetic rubber* seperti yang dijelaskan pada table 3.1 dengan masing-masing 20% w *Carbon Black* sebagai variabel kontrol.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Komposisi	Ukuran Partikel	Kode
NR/SR 90/10	control	A0
	140 μm	A1
	224 μm	A2
	280 μm	A3
NR/SR 50/50	control	B0
	140 μm	B1
	224 μm	B2
	280 μm	B3
NR/SR 10/90	control	C0
	140 μm	C1
	224 μm	C2
	280 μm	C3

Tabel 3.2 Data unsur *filler*

Material	phr
<i>Carbon</i>	10
<i>Silika</i>	28
<i>Sulfur</i>	1
<i>ZnO</i>	1
<i>Oil</i>	11
Total	51

3.5. Prosedur Penelitian

Untuk menghasilkan hasil penelitian yang sesuai dengan harapan, maka penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang akan dilakukan hingga didapatkan hasil berupa Komposit *Natural rubber/synthetic rubber* sebagai kandidat komposit konduktif sebagai berikut:

1. Mempersiapkan semua alat dan bahan.
2. Mengukur massa campuran matriks *Rubber* dengan perbandingan komposisi massa *Natural rubber/Synthetic rubber* 90/10, 50/50, 10/90.

3. Memilahkan ukuran partikel ban bekas dengan alat *sieving machine*.
4. Mencampurkan *natural rubber* dengan *synthetic rubber* dan diaduk. Kemudian menambahkan Filler dengan ukuran 140, 224, dan 280 μm dan dicampur merata.
5. Mencampur secara *manual stirring* hingga homogen pada temperatur kamar.
6. Meletakkan hasil campuran ke dalam wadah cetakan untuk dijadikan specimen uji.
7. Cetakan beserta bahan di masukkan ke oven untuk proses vulkanisasi pada temperatur 180°C selama 1 jam 40 menit.
8. Melakukan pengujian.

3.6. Pengujian

1. Pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)
Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS Surabaya menggunakan instrumen *Thermo Scientific Nicolet IS10*. Pengujian FTIR bertujuan untuk melihat adanya gugus fungsi tertentu yang terbentuk pada specimen uji. Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energi dengan suatu materi. Saat specimen uji ditembakkan dengan sinar inframerah, atom-atom dalam specimen uji akan bergetar atau bervibrasi sebagai akibat energi yang berasal dari sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron. Besar energi vibrasi setiap komponen molekul berbeda-beda tergantung pada kekuatan ikatan yang terdapat pada molekul.
2. *TGA Test*
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui grafik sifat termal specimen terutama stabilitas. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu FMIPA Universitas Negeri Surabaya. Pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM D6370-99.

3. *Tensile Test*

Pengujian *tensile* dilakukan di Laboratorium Farmasi Universitas Airlangga, Surabaya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik, kekakuan, dan ketangguhan spesimen berdasarkan standar ASTM D412.

4. *Hardness Test*

Pengujian *hardness* dilakukan di Laboratorium metalurgi Departemen Teknik Material FTI-ITS Surabaya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen berdasarkan standar ASTM D2240.

3.7. Rancangan Pengujian

Tabel 3.3 Rancangan Pengujian

Variabel		Kode Spesi- men	Pengujian			
Komposisi (%)	Ukuran Partikel		<i>FTIR</i>	<i>Tensile</i>	<i>TGA</i>	<i>Hardness</i>
NR/SR 90/10	control	A0		√	√	√
	140 µm	A1		√		√
	224 µm	A2		√	√	√
	280 µm	A3	√	√		√
NR/SR 50/50	control	B0		√	√	√
	140 µm	B1		√		√
	224 µm	B2		√	√	√
	280 µm	B3	√	√		√
NR/SR 10/90	control	C0		√	√	√
	140 µm	C1		√		√
	224 µm	C2		√	√	√
	280 µm	C3	√	√		√

3.8. Rumus *Tensile Test*

Tengangan

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(2)$$

Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(3)$$

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilaksanakan dengan mengacu pada seluruh rangkaian prosedur penelitian yang tercantum pada BAB III, maka diperoleh data-data sebagai berikut: gugus fungsi unsur penyusun bahan natural rubber-sintetik rubber/ carbon black dengan uji FTIR, analisa stabilitas komposisi bahan natural rubber – sintetik rubber/ carbon black dengan uji analisa termogravimetri, Kekuatan tarik dan elastisitas natural rubber-sintetik rubber/ carbon black dengan uji tarik, kekerasan permukaan bahan natural rubber – sintetik rubber/ carbon black dengan uji durometer hardness. Variable yang di ujikan pada percobaan ini adalah

4.1. Hasil Pengujian FTIR Bahan SR-NR/CB

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi senyawa penyusun bahan SR-NR/CB. Masing-masing variable (bahan A, bahan B, bahan C) diambil dari variabel dengan ukuran partikel 280 μm .

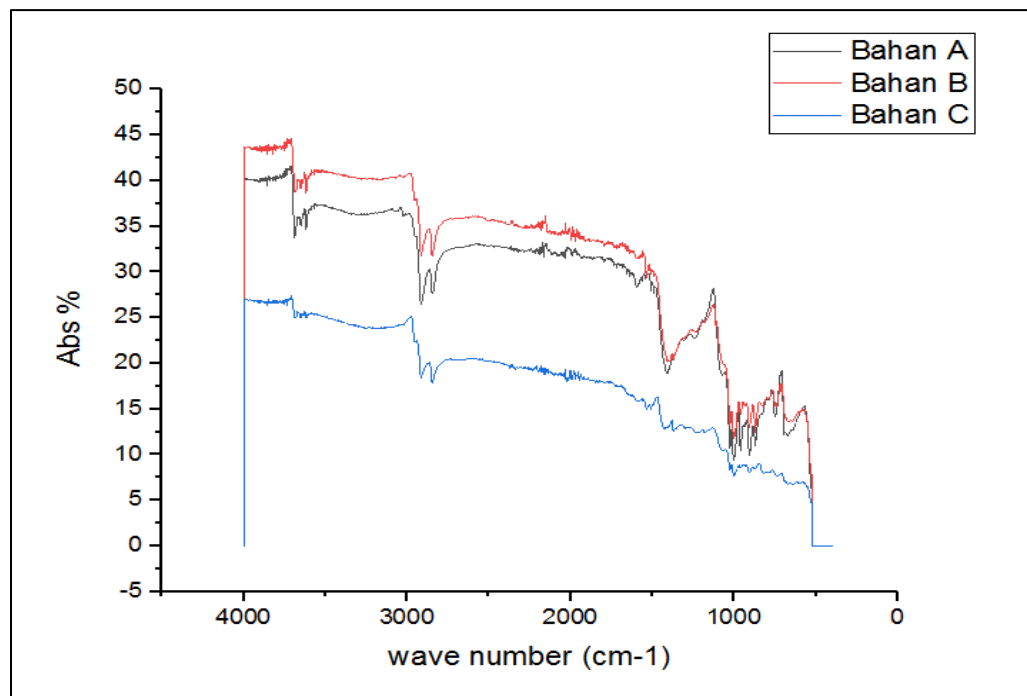
Tabel 4.1 Rentang Gugus Fungsi FTIR

Gugus Fungsi	SR/NR 90/10	SR/NR 50/50	SR/NR 10/90
C=C Ar (Cm^{-1})	1600-1450	1535-1396	1534-1424
C-H Ar (Cm^{-1})	2970-2840	2970-2840	2975-2846
C-H (Cm^{-1})	1460-1375	1400-1340	1402-1360
Diena (Cm^{-1})	980-957	1002-957	1000-906
<i>Phenyl</i> (Cm^{-1})	705-964	705-668	760-710

Tabel 4.1 menjelaskan rentang gugus fungsi penyusun bahan dari spektrun infra merah. Pada Gambar 4.1 dapat dilihat hasil dari pengujian FTIR untuk ketiga bahan. Dari hasil FTIR ini yang berbeda hanyalah pada intensitas penyerapan yang mana bahan B memiliki intensitas paling tinggi sedangkan bahan C

memiliki intensitas paling rendah. Kemudian pada gugus fungsi diena (1000-906) dan gugus fungsi *Phenyl* (760-668) yang merupakan identifikasi bahan *Styrene Butadiene Rubber* terlihat memiliki intensitas sangat rendah pada bahan C dibandingkan bahan lainnya. Hal ini menandakan bahwa lebih sedikit *styrene butadiene rubber* pada bahan C yang mana sesuai dengan komposisi variabel penelitian. *peak* dari gugus *phenyl* dan *Butadiene*. Distribusi gugus fungsi berada pada 980-957 cm^{-1} untuk *dienes*, 705-694 cm^{-1} untuk *phenyl* dan 3100-2800 cm^{-1} untuk C-H total. Selain itu *peak* pada 1705 cm^{-1} adalah gugus asam lemak ester yang merupakan aditif pada *Styrene Butadiene Rubber* (James dan Xiaojun, 2009). Molekul utama penyusun *natural rubber* adalah *poliisoprene*. Memiliki sifat mekanik yang bagus namun buruk terhadap *chemical resistance*. Massa molar poliisopren adalah sebesar 68,12 g/mol. Molekul utama penyusun *Styrene Butadiene rubber* adalah *Styrene* dan *Butadiene* yang mana *styrene* memiliki massa molar sebesar 104,15 g/mol dan *butadiene* memiliki massa molar sebesar 54,09 g/mol, Sehingga massa molar *Styrene Butadiene Rubber* lebih besar dari *natural rubber* yang berarti rantainya lebih kompleks dan lebih sulit untuk terdeformasi.

Selain itu, hasil pengujian FTIR ketiga bahan memiliki kemiripan dengan hasil pengujian FTIR untuk *Carbon Black* pada gambar 2. 9 yang juga dapat diartikan bahwa adanya eksistensi *Carbon Black* di dalam bahan penelitian. Maka diharapkan dengan penambahan partikel filler *carbon black* dari pengolahan ban bekas ini dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit SR/NR-CB.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian FTIR masing masing Bahan

4.2 Hasil Pengujian Tensile Bahan SR-NR/CB

Pengujian *tensile* dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan ukuran partikel filler *carbon black* dari pengolahan ban bekas dan komposisi matriks bahan. Tabel 4.2 menunjukkan komposisi *synthetic rubber*, *natural rubber* dan *carbon black* masing masing bahan spesimen.

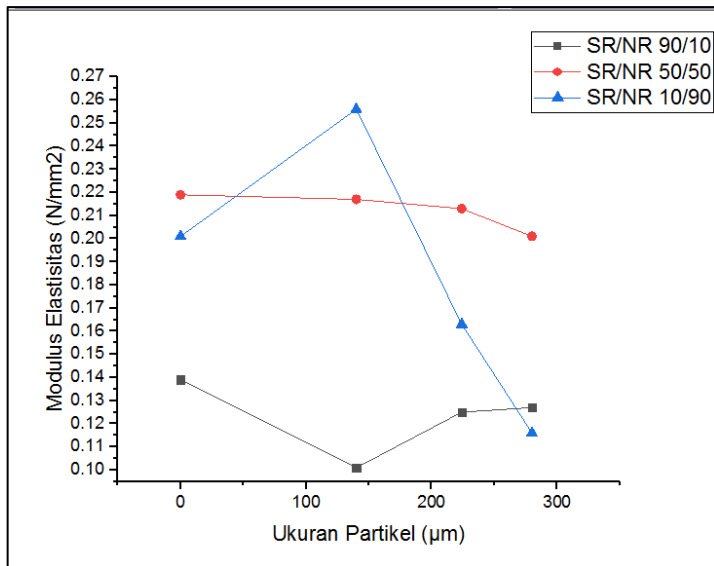
Tabel 4.2 Komposisi spesimen

Kode	A0	A1-A3	B0	B1-B3	C0	C1-C3
SR (%)	90	75	50	41,67	10	8,3
NR (%)	10	8,3	50	41,67	90	75
CB (%)	-	16,7	-	16,66	-	16,7

Table 4.3 menunjukkan data hasil dan perhitungan dari pengujian *tensile* yang dilakukan pada masing-masing bahan sesuai dengan ASTM D412. Kemudian hasil Modulus Elastisitas di-*plotting* terhadap nilai ukuran partikel masing-masing bahan.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Tensile*

DATA	σ (N/mm ²)	ϵ	E (N/mm ²)
A0	1,45	10,39	0,139
A1	1,74	17,27	0,101
A1	1,74	13,89	0,125
A3	2,38	18,69	0,127
B0	1,91	8,73	0,219
B1	2,09	9,63	0,217
B2	2,31	10,83	0,213
B3	3,12	15,52	0,201
C0	2,59	12,20	0,201
C1	3,98	15,56	0,256
C2	2,95	18,07	0,163
C3	2,30	19,83	0,116



Gambar 4.2 Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Modulus Elastisitas dari Masing Masing Variabel

Dari gambar 4.2 dapat dilihat untuk bahan SR/NR 90/10 selain bahan kontrol terjadi kenaikan modulus seiring bertambahnya ukuran partikel *filler carbon black* dari ban bekas. Sedangkan pada bahan SR/NR 50/50 selain bahan kontrol terjadi penurunan yang kurang signifikan atau relatif stabil dengan peningkatan ukuran partikel *carbon black* dari ban bekas. Untuk bahan SR/NR 10/90 sendiri selain bahan kontrol terjadi penurunan yang cukup signifikan seiring bertambahnya ukuran partikel *filler carbon black* dari ban bekas hal ini bisa dikarenakan oleh kurang ikatan interface antara partikel *filler* dan matriks rubber mengingat natural rubber memiliki sifat pra-koagulasi sehingga akan lebih sulit untuk di bentuk atau dicampur dibandingkan dengan sintetik rubber yang lebih lunak karena bahan 10/90 sendiri terdiri dari lebih banyak *natural rubber* dan sifat partikel yang merupakan karbon dari *vulcanized tire rubber* sehingga sudah tidak lagi bisa berikatan dengan matriks secara kuat.

Kemudian jika dilihat dari struktur penyusun, SBR terdiri dari empat unit penyusun dasar yaitu *Cis-1,4 polyisoprene*, *Trans 1,4 polyisoprene*, *1,2 polybutadiene* dan *styrene*. Sedangkan NR terdiri dari satu unit penyusun yaitu *Cis-1,4 polyisoprene*. Struktur penyusun yang lebih sederhana membuat sifat mekanik NR cenderung lebih rendah dibandingkan dengan SBR. SBR sendiri karena memiliki struktur penyusun yang lebih rumit dan lebih stabil dengan adanya gugus aromatik (*styrene*) membuat SBR memiliki sifat mekanik yang lebih baik. Menurut Martinel (1980) *natural rubber* memiliki *tensile strength*, *tear resistance*, *resiliency* dan *electrical insulation* yang bagus namun lebih rendah dibandingkan penemuan elastomer sintetik yang lebih baru. Namun *Natural rubber* memiliki *flexing qualities* yang lebih baik dibandingkan dengan kebanyakan karet sintetik namun tidak lebih baik dibandingkan dengan silikon dan SBR. SBR sendiri memiliki sifat yang mirip dengan natural, mengingat penciptaannya yang memang bertujuan untuk menggantikan natural rubber, namun dalam sebagian besar sifat mekanik, SBR memiliki keunggulan dibandingkan dengan *natural rubber* termasuk di heat aging properties dimana *Styrene Butadiene Rubber* mengeras karena pemanasan berlebih tidak seperti *natural rubber* yang melunak.

Nilai modulus elastisitas paling tinggi dimiliki oleh bahan C dengan ukuran partikel 140 μm . bahan A memiliki nilai modulus yang relative rendah dan bahan B memiliki nilai modulus elastisitas yang stabil. L, Montagna (2012) menyebutkan didalam penelitiannya bahwa pengaruh peningkatan ukuran partikel *filler carbon* cenderung menurunkan nilai *Tensile strength* dikarenakan semakin banyak dan besar *void* dan lemahnya ikatan antara permukaan filler dan matriks. Yang dapat diartikan bahwa semakin besar ukuran partikel *filler carbon black* maka akan terbentuk lebih banyak *void* dan semakin luasnya permukaan *interface* antara *carbon black* dan matriks yang mana lebih lemah dibandingkan *interface* antara matriks dengan matriks

4.2. Hasil Pengujian Durometer *Hardness* Bahan SR-NR/CB

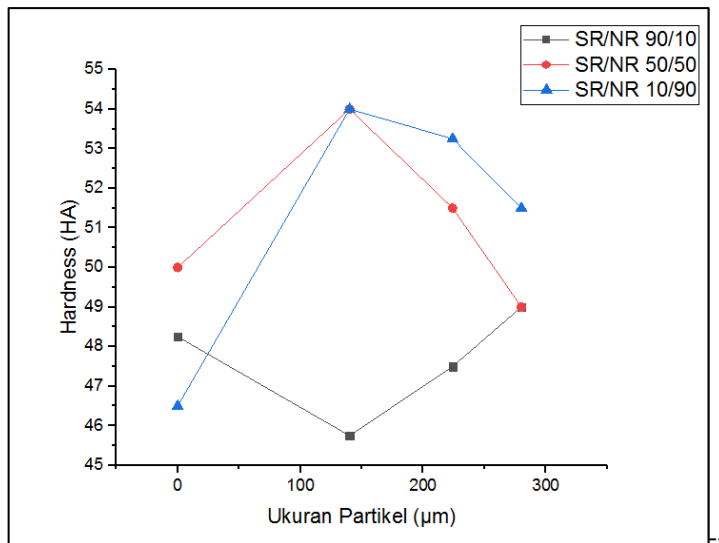
pengujian *hardness* dilakukan untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel *filler carbon black* dari ban bekas dan komposisi matriks SR/NR terhadap nilai *hardness* komposit yang telah disintesis. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar uji ASTM D2240 menggunakan *Durometer Shore A*. kemudian nilai *hardness* masing-masing bahan di-*plotting* terhadap nilai ukuran partikel.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Hardness*

Data	Kontrol	140 μm	224 μm	280 μm
SR/NR 90/10	48.25 HA	45.75 HA	47.5 HA	49 HA
SR/NR 50/50	50 HA	54 HA	51.5 HA	49 HA
SR/NR 90/10	46.5 HA	54 HA	53.25 HA	51.5 HA

Table 4.4 menjelaskan hasil dari pengujian *hardness* masing-masing komposisi terhadap ukuran partikel *filler*. Indentasi dilakukan di tiga titik berbeda dari masing-masing komposit SR/NR-CB kemudian dirata-rata.

Table 4.4 menyatakan nilai *hardness* dengan satuan dari alat uji *hardness durometer shore A* dengan ketebalan spesimen minimal 0,6 cm. meski begitu, lebih disarankan untuk menggunakan alat uji *hardness IRHD (International Rubber Hardness Degrees)* mengingat komposit yang digunakan berbasis rubber sehingga penggunaan alat uji IRHD dirasa lebih tepat dan akurat.



Gambar 4.3 Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Nilai *Hardness* dari Masing-Masing Variabel

Dari gambar 4.3 diatas terlihat bahwa nilai *hardness* bahan A relatif meningkat seiring peningkatan ukuran partikel *filler carbon black* yang mana memiliki kemiripan dengan trend nilai modulus elastisitasnya. Sedangkan bahan B mengalami penurunan yang signifikan seiring meningkatnya ukuran partikel *filler carbon black* berbeda dengan nilai modulus elastisitasnya yang relatif stabil. Untuk bahan C mengalami penurunan yang relatif stabil seiring meningkatnya ukuran partikel *filler karbon black* dan memiliki nilai *hardness* paling tinggi diantara bahan yang lain selain bahan kontrol. Nilai *hardness* tertinggi dimiliki oleh bahan A1 dan B1 sebesar 54 HA.

Bijarimi (2010) menyebutkan dalam bukunya bahwa rubber dengan ukuran partikel *filler* lebih besar cenderung lebih lembut dikarenakan rendahnya struktur karbon black dibandingkan ukuran partikel yang lebih halus.

Selain itu, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa *natural rubber* memiliki sifat pra-koagulasi yang apabila tidak cepat diproses *natural rubber* akan mengeras dengan sendirinya dan akan sulit untuk diproses. Perbedaan fisik ini dapat dirasakan secara langsung dan sangat mempengaruhi hasil produk akhir dari sintesa komposit SR/NR-CB yang mana membuat bahan dengan komposisi *natural rubber* lebih banyak memiliki nilai *hardness* yang lebih tinggi dibanding bahan dengan komposisi lebih rendah. Meski begitu, pada komposit SR/NR 10/90 tanpa filler yang memiliki lebih banyak komposisi *natural* mempunyai nilai *hardness* yang lebih rendah dibandingkan dengan komposit SR/NR 90/10 tanpa filler. Hal ini dapat terjadi karena kesulitan dalam pemrosesan matriksnya sehingga tidak begitu meratanya massa campuran *natural rubber* dan *styrene butadiene rubber*. Begitu juga dengan pengaruh ukuran partikel pada *hardness* dimana semakin besar ukuran partikel maka semakin banyak void yang terbentuk sehingga indentasi yang dilakukan bisa saja mengenai bagian yang terdapat *void*.

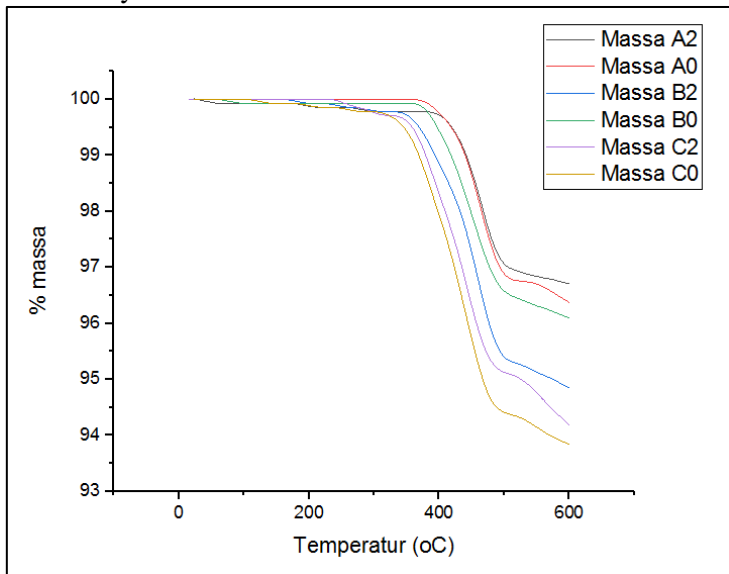
Arguello (2016) menjelaskan bahwa jumlah cross-link menentukan elastisitas dari rubber ataupun kuantitas dari sulfur yang ditambahkan sebagaimana sulfur merupakan cross-link agent. Kandungan sulfur yang rendah menjadikan rubber lebih lembut dan fleksibel sedangkan kandungan yang lebih tinggi menghadang pelurusan rantai molekul rubber sehingga rubber lebih keras, padat dan rapuh. Deformasi yang dialami oleh rubber secara keseluruhan adalah deformasi elastis nonlinear. Pada awal deformasi, modulus elastisitas berkurang karena pelurusan rantai molekul, kemudian setelah rantai lurus setiap penambahan deformasi tetap terjadi secara elastis karena ikatan yang mudah meregang.

4.4. Hasil Pengujian TGA Bahan SR-NR/CB

Pengujian thermogravimetri ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan dan perubahan ukuran partikel filler karbon black dari pengolahan ban bekas serta komposisi matriks terhadap stabilitas komposisional dari bahan SR-NR/CB. Pengujian TGA dilakukan berdasarkan standar ASTM 6370 hingga temperature 600° C.

4.4.1. Perbandingan Hasil Pengujian TGA masing-masing bahan

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa bahan A0 dan A2 memiliki stabilitas *thermal* yang paling tinggi dengan degradasi sebesar 0,5 dan 0,47 mg, dan stabilitas *thermal* paling rendah dimiliki oleh bahan C0 dan C2 dimana degradasi massanya mencapai 0.85 dan 0.81 mg. Hal ini juga menandakan lebih tingginya komposisi karbon pada bahan A0 dan A2 dibandingkan bahan lainnya.



Gambar 4.4 Perbandingan Hasil Pengujian TGA

Penurunan massa paling signifikan mulai pada temperatur $\sim 350^{\circ}\text{C}$ hingga temperatur $\sim 500^{\circ}\text{C}$ yang mana merupakan proses degradasi bahan tambahan seperti pelunak, *accelerator* dan polimer atau elastomer penyusun bahan. Setelah itu penurunan massa cenderung melambat karena proses degradasi molekul carbon yang dimulai pada temperatur 560°C .

Cassel, Bruce (2015) menyebutkan bahwa degradasi massa *oil* dan bahan pelunak lainnya terjadi pada temperatur $\sim 300^{\circ}\text{C}$ - 560°C , dan degradasi massa *Carbon* terjadi pada temperatur 560°C - 800°C . TGA dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi total komponen organik, *carbon black*, dan *ash* secara spesifik dan akurat pada material hasil *curing* ataupun bukan. Hasil pengukuran bisa saja berbeda antara bahan dengan material *volatile* yang tinggi (lembab, plasticizer, pelarut, dan bahan lain) dan material dengan *volatile* yang rendah (termasuk rubber). Setelah material organik dan polimer terurai, penggantian ke udara bebas akan mengoksidasi karbon meninggalkan residu.

Jadi dapat dikatakan bahwa terdapat perbedaan stabilitas *thermal* dari masing-masing bahan penelitian dimana stabilitas *thermal* ini dipengaruhi oleh ikatan antar rantai molekul didalam bahan dan konsentrasi bahan *reinforcement* yang dalam hal ini adalah *carbon black*. Sehingga apabila suatu bahan rubber ditambahkan lebih banyak konsentrasi carbon black yang mana memiliki stabilitas *thermal* lebih tinggi juga akan meningkatkan stabilitas *thermal* rubber itu sendiri namun tetap perlu diperhatikan pengaruh terhadap sifat mekaniknya.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan antara lain :

1. Penambahan *filler Carbon Black* dari pengolahan limbah ban dapat meningkatkan sifat mekanik namun menurun dengan bertambahnya ukuran partikel *filler*.
2. Bahan SR/NR 90/10 memiliki sifat mekanik yang paling rendah namun memiliki stabilitas TGA paling baik sedangkan bahan SR/NR 50/50, dan SR/NR 10/90 memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi namun stabilitas TGA yang lebih buruk.
3. Penggunaan ban bekas sebagai alternatif *filler* dapat digunakan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini, diberikan saran yang diharapkan mampu meningkatkan hasil penelitian kedepannya, antara lain :

1. Menggunakan cetakan yang lebih kuat menahan proses vulkanisasi dan lebih presisi.
2. Menambahkan bahan *accelerator* untuk mempercepat proses vulkanisasi.
3. Menggunakan serbuk ban bekas yang lebih bersih dari pengotor.
4. Menggunakan roll mill yang lebih kuat untuk mencampur bahan.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Arayapranee, W. 2012. *Rubber Abrasion Resistance*, Rangsit University. Thailand.
- Bauman, Bernard D. 1998. *Plastics Additives: Surface-Modified Rubber Particle for Polyurethane*. Springer Science dan Business Media Dordrecht.
- Bijarimi, Mohd dkk. 2010. *The Effect of Carbon Black Grades in Tyre Tread Compounds*. Malaysia. Universiti Malaysia Pahang.
- Continental AG, 2008. *Tyre Basics :Passanger Car Tyres*. Hanover. Continental AG
- Ghosh, A. K., Maiti, S., Adhikari, B., Ray, G. S. and Mustafi, S. K. 1997. *Effect of Modified Carbon Black on the Properties of Natural Rubber Vulcanizate*. J. Appl. Polym. Sci. 66(4) : 683-693
- Gotad, Rutika dkk. 2015. *Tweel Tyre Technology. Study Paper*. India. Pillai Hoc College of Engineering.
- Lindenmuth, B.E. dkk. 2006. *Mechanics of Pneumatic tires*. Amerika. National Bureau Standard.
- Manibaalan C. Dkk. 2013. *Static Analysisof Airless Tyres. Coimbatore. Amrita University*
- Oleiwi, Jawad. K dkk. 2011. *A Study of The Effect of Carbon Black Powder on The Physical Properties of SBR/NR Blends Used In Passanger Tire Tread*. Baghdad. University of Technology.
- Orion, 2015. *What is Carbon Black ?*. Lexemburg. Orion.
- Otto, Guilherme Piovezan dkk. 2016. *Mechanical Properties of Polyurethane Hybrid Composite with Natural Lignocellulosic Fibers*. Brazil. Universidade de Maringa. Elsevier.

- P. Malinova, R. Nikolov, N. Dishovski, L. Lakov, *Modification of carbon-containing fillers for elastomers*, Kautsch Gummi Kunstst., 57, 2004, 443-445
- Phetphaisit, Chor Wayankron dkk. 2012. *Polyurethane Polyester Elastomer : Innovative Environmental Friendly Wood Adhesive from Modified PETs and Hydroxyl Liquid Natural Rubber Polyols*. Thailand. Naresuan University. Elsevier.
- Periasamy, K dan Vijayan S. 2014. *Design and Development of Air-less Car Tire*. India. J.J College of Engineering.
- Samuel, K. Clark. Dkk. *Book of Pneumatic Tires*. United States. 2005. University of Akron
- Sassi, Sadok dkk. 2016. *New Design of Flat-Proof Non-Pneumatic Tire*. Qatar. Qatar University.
- Tohantoro, Arief Dwi dan Agus Sigit Pramono. 2013. *Analisa Pengaruh dan Geometri Spoke Berbentuk Belah Ketupat Pada Ban Tanpa Udara Terhadap Kekakuan Radial dan Lateral*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Umesh, G.C. dan Amith Kumar S.N. 2016. *Design and Analysis of Non-Pneumatic Tyre (NPT) with Honeycomb Spokes Structure*. India. Dr.Ambekar Institute of Technology.
- Zafarmehrabian, Ramin dkk. 2011. *The Effect of Silica/Carbon Ratio on The Dynamic Properties of The Tread Compound in Truck Tires*. Iran. Islamic Azad University.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : Pengujian Tensile

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan dan kemudian nilai modulus elastisitas yang terlampir dibawah. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM D412.

Perhitungan

A. Bahan A0

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{117,68}{81} = 1,45 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{140,26}{13,5} = 10,39$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{1,45}{10,39} = 0,139 \text{ N/mm}^2$$

B. Bahan A1

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{143,67}{82,5} = 1,74 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{233,71}{13,5} = 17,27$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{1,74}{17,27} = 0,101 \text{ N/mm}^2$$

C. Bahan A2

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{149,06}{85,5} = 1,74 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{187,48}{13,5} = 13,89$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{1,74}{13,89} = 0,125 \text{ N/mm}^2$$

D. Bahan A3

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{228}{96} = 2,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{252,29}{13,5} = 18,69$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{2,38}{18,69} = 0,127 \text{ N/mm}^2$$

E. Bahan B0

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{166,22}{87} = 1,91 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{117,86}{13,5} = 8,73$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{1,91}{8,73} = 0,219 \text{ N/mm}^2$$

F. Bahan B1

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{180,93}{86,4} = 2,09 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{129,98}{13,5} = 9,63$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{2,09}{9,63} = 0,217 \text{ N/mm}^2$$

G. Bahan B2

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{197,11}{85,5} = 2,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{147,29}{13,6} = 10,83$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{2,31}{10,83} = 0,213 \text{ N/mm}^2$$

H. Bahan B3

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{257,42}{82,5} = 3,12 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{211,1}{13,6} = 15,52$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{3,12}{15,52} = 0,201 \text{ N/mm}^2$$

I. Bahan C0

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{214,28}{94,2} = 2,59 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{164,71}{13,5} = 12,20$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{3}{15,52} = 0,201 \text{ N/mm}^2$$

J. Bahan C1

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{346,17}{87} = 3,98 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{211,65}{13,6} = 15,56$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{3,98}{15,56} = 0,256 \text{ N/mm}^2$$

K. Bahan C2

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{256,93}{87} = 2,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{243,97}{13,5} = 18,07$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{2,95}{18,07} = 0,163 \text{ N/mm}^2$$

L. Bahan C3

$$\sigma = \frac{F}{A} ; \sigma = \frac{217,32}{94,4} = 2,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} ; \varepsilon = \frac{267,67}{13,5} = 19,83$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} ; E = \frac{2,30}{19,83} = 0,116 \text{ N/mm}^2$$

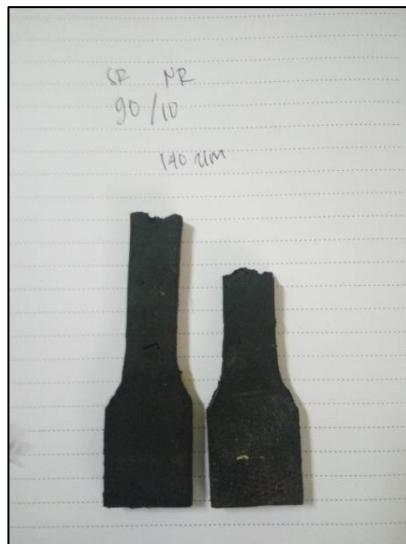
Foto pengujian



Gambar 1 spesimen *tensile test*



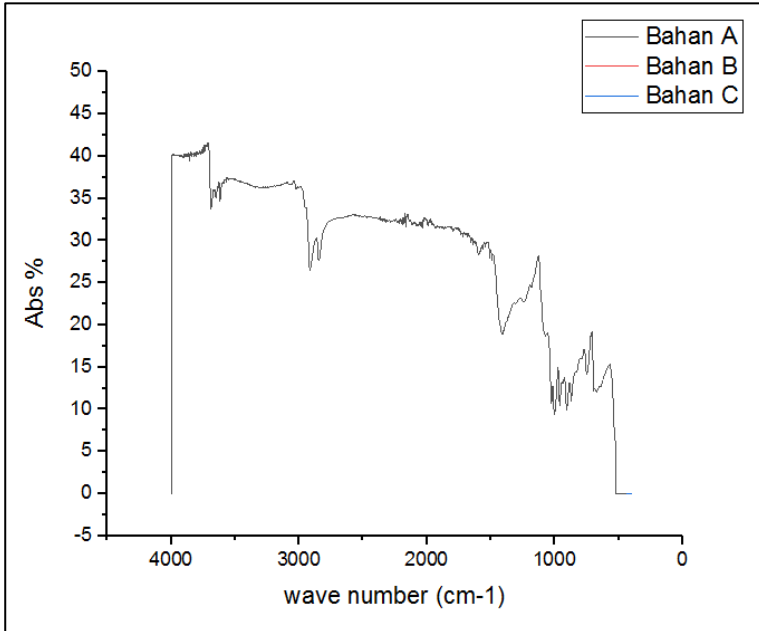
Gambar 2 Pengujian *Tensile*



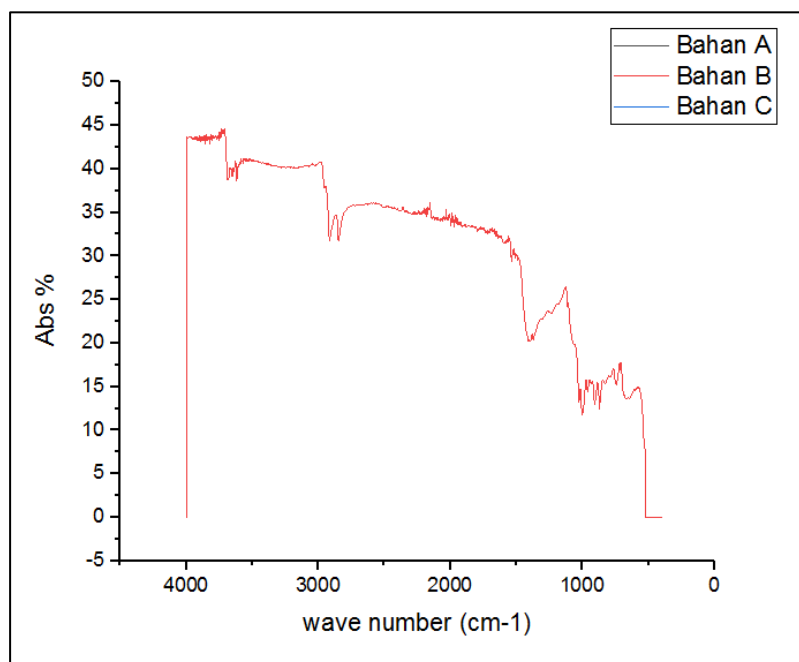
Gambar 3 Hasil Pengujian *Tensile*

LAMPIRAN 2 : Pengujian FTIR

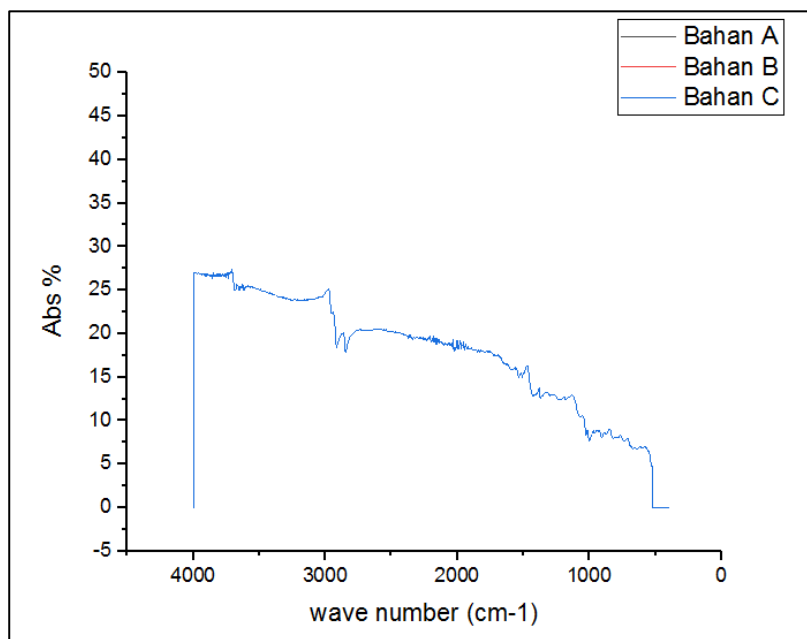
Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi penyusun masing-masing bahan. Terlampir dibawah adalah hasil dari pengujian FTIR untuk masing-masing bahan.



Gambar 4 Hasil pengujian FTIR Bahan A



Gambar 5 Hasil Pengujian FTIR Bahan B



Gambar 6 Hasil Pengujian FTIR Bahan C

LAMPIRAN 3 : Pengujian *Hardness*

Pengujian *hardness* dilakukan untuk mengetahui kekerasan permukaan masing-masing bahan dengan menggunakan alat uji *hardness* durometer. Dengan ketebalan spesimen minimal 0.6 cm



Gambar 7 Alat Uji *Hardness* Durometer



Gambar 8 Pengujian *Hardness*

LAMPIRAN 4 : Pengujian TGA

Pengujian TGA dilakukan untuk mengetahui stabilitas thermal masing-masing bahan yang dilakukan hingga temperatur 600°C dengan laju 10°C per menit dengan massa masing-masing 12 mg. Pengujian dilakukan di laboratorium terpadu FMIPA Universitas Negeri Surabaya.



Gambar 9 Pengujian TGA

LAMPIRAN 5 : Alat Penelitian

Berikut adalah alat-alat yang digunakan untuk menunjang penelitian ini.



Gambar 10 Alat *Press*



Gambar 11 Alat Roll Mill



Gambar 12 Oven

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Gema Rivalda Rais, lahir di sungai penuh 14 oktober 1995 merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan Sasli Rais dan Nia Kurniasih. Penulis menempuh pendidikan di SD 166/III Koto Renah, SMP N 1 Sungai Penuh dan MA N Insan Cendekia Jambi. Setelah lulus, penulis mendaftar dan diterima sebagai mahasiswa program studi S1 di Departemen Teknik Material, Fakultas

Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013. Selama menjalankan pendidikan di ITS, penulis berpartisipasi aktif dalam lembaga dakwah kampus Jamaah Masjid Manarul Ilmi ITS (JMMI ITS) sebagai staf Departemen Jaringan pada tahun 2014-2015, staf panitera Mahkamah Mahasiswa ITS pada Tahun 2014-2015, ketua Divisi Syi'ar lembaga dakwah jurusan Ash-haabul Kahfi, dan Senat mahasiswa material dan metalurgi pada tahun 2015-2016. Penulis juga aktif dalam kegiatan pengembangan keterampilan manajemen mahasiswa LKMM pra TD dan LKMM TD. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik di PT. Inalum, Tanjung Gading, Sumatra Utara dengan topic kerja Proses Produksi *Aluminium Alloy 6061 Billet Dengan Metode Vertical Direct Casting*. Penulis mengakhiri kegiatan perkuliahan di ITS dengan mengambil judul “Studi Pengaruh Variasi Ukuran Partikel *Filler* Karbon dan Komposisi Matriks Terhadap Performa Komposit Berbasis Karet Untuk Aplikasi *Tread Pada Airless Tires*”.